

# ESTUDO DAS OSCILAÇÕES DA VELOCIDADE DE AVANÇO NO FRESAMENTO EM ALTAS VELOCIDADES DE FORMAS COMPLEXAS

**Prof. Dr. Adriano Fagali de Souza**

Sociedade Educacional de Santa Catarina – SOCIESC

[adriano.fagali@sociesc.org.br](mailto:adriano.fagali@sociesc.org.br)

**Adriano Eudorico Albano**

Sociedade Educacional de Santa Catarina – SOCIESC

[adriano.albano@sociesc.org.br](mailto:adriano.albano@sociesc.org.br)

**Prof. Dr. Reginaldo Teixeira Coelho**

Escola de Engenharia de São Carlos – EESC-USP

[rtcoelho@sc.usp.br](mailto:rtcoelho@sc.usp.br)

## Resumo

Este trabalho tem por finalidade colaborar com o conhecimento do processo de fresamento de formas geométricas complexas, trivialmente encontradas no segmento de moldes e matrizes. É apresentada a cadeia produtiva envolvida neste segmento. Nas operações de usinagem por fresamento, são investigadas oscilações na velocidade de avanço ( $V_f$ ) quando se fresa formas complexas em altas velocidades. Com a metodologia utilizada procurou-se identificar as fontes das oscilações no avanço, partindo de duas possibilidades: a) limitações dinâmicas da máquina; b) processamento da máquina. Para o corpo de prova utilizado, que representa a usinagem de moldes e matrizes, observou-se que as limitações dinâmicas da máquina não representaram influência nas oscilações do avanço. Neste caso, a capacidade de processamento do conjunto máquina/CNC foi responsável pelas oscilações. Avaliou-se também a qualidade superficial em função das oscilações do avanço e do método de interpolação linear de segmento de retas, utilizado por sistemas CAM/CNC para descrever trajetórias de ferramenta.

**Palavras-chave:** Moldes e matrizes; CAD/CAM; velocidade de avanço.

## 1. INTRODUÇÃO

Na pesquisa realizada por FALLBÖHMER<sup>(1)</sup> constatou-se que a indústria automobilística é a maior cliente dos fabricantes de moldes e matrizes, seguidas pela indústria eletrônica e a de eletrodomésticos. A pesquisa demonstra também, que mais de 60% do tempo de fabricação de um molde ou uma matriz é consumido na fabricação das partes funcionais, as quais, em geral, incluem superfícies complexas. Na fabricação de um ferramental, as principais operações empregadas envolvem: fresamento tridimensional; eletro-erosão; polimento manual e ajuste. Excluindo alguns casos particulares, a operação de fresamento pode ser considerada a etapa mais crítica nesta fabricação, por não se obter a qualidade superficial necessária para o ferramental iniciar a produzir. Em muitos casos, a etapa de polimento manual pode influenciar significativamente no prazo de entrega e na qualidade dimensional do molde. A tecnologia de usinagem em altas velocidades (High Speed Cutting-HSC) é considerada como alternativa promissora para a evolução deste processo de fabricação (SCHULZ)<sup>(2)</sup>. Pode-se observar, com o aumento da velocidade de corte, redução da força de usinagem e melhora na qualidade superficial. De forma geral, para se trabalhar em HSC, altos valores para a velocidade de avanço são requeridos.

Diversos trabalhos científicos demonstram a dificuldade em se estudar este processo, principalmente em pelas condições de corte intermitente associado à constante alteração do contato ferramenta-peça. No trabalho realizado por CEBALO<sup>(3)</sup>, sugere-se utilizar os mesmos valores dos parâmetros de corte: avanço por aresta e passo lateral, a fim de facilitar as etapas posteriores de acabamento manual. Algumas considerações geométricas do contato ferramenta-peça, envolvendo operações de desbaste e acabamento, em condições que representam esta fabricação, foram estudadas por SOUZA<sup>(4)</sup>. As tolerâncias envolvidas na cadeia CAD/CAM/CNC e o método utilizado para descrever trajetórias complexas de ferramenta foi apresentado por SHÜTZER e SOUZA 1999<sup>(5)</sup>. A utilização de funções *Spline* para descrever trajetórias de ferramenta, para substituir o método de interpola linear de segmentos de retas, foi estudado por SOUZA e COELHO 2006<sup>(6)</sup>.

Para aprimorar este processo de fresamento tridimensional, novas tecnologias estão se desenvolvendo, dentre estas, pode-se citar: novos materiais, recobrimentos e geometrias das ferramentas de corte; novas concepções de máquinas, acionamentos e comandos CNC; novas estratégias de usinagem oferecidas por sistemas CAM. Entretanto, muito estudo ainda deve ser realizado a fim de quantificar os reais benefícios e aplicações específicas destas novas tecnologias.

O presente trabalho apresenta a cadeia de manufatura de produtos que utilizam moldes e matrizes, e um levantamento sobre as operações envolvidas na etapa de fabricação destes ferramentais, além de um detalhamento sobre os processos de usinagem requeridos. No trabalho experimental, é apresentado um estudo para verificar oscilações na velocidade de avanço na usinagem em alta velocidade de formas complexas.

## 2. ESTUDO DA MANUFATURA DE PRODUTOS QUE UTILIZAM MOLDES E MATRIZES

De acordo com BOUJELBENE et al<sup>(7)</sup>, 30% do custo de um produto fabricado pela injeção de plástico é relativo à manufatura do molde, e apenas 5% do custo deste produto é relativo ao aço utilizado, como detalha a Figura 1.

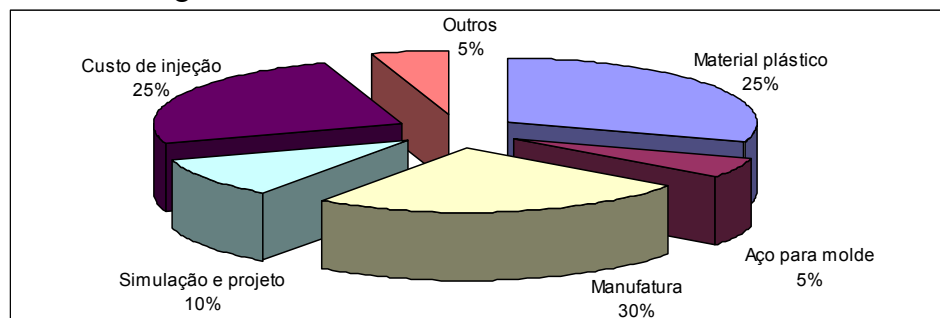


Figura 1: Análise de custo de um produto de polímero injetado BOUJELBENE et al<sup>(7)</sup>

O trabalho realizado por SOUZA et al 2006<sup>(8)</sup> apresenta a cadeia produtiva que envolve a fabricação de produtos e componentes que utilizam ferramentais para sua fabricação. Estes ferramentais são denominados moldes e matrizes. Esta cadeia produtiva foi subdividida em seis subáreas do conhecimento: Desenvolvimento de produtos; Engenharia de superfícies; Projeto de ferramental; Processos de fabricação; Processos de transformação; Inspeção e certificação.

Dentro desta cadeia, o atual trabalho apresenta um estudo focando a etapa de fabricação de ferramentais (Figura 2). Inicialmente, um levantamento das etapas de fabricação de moldes e matrizes foi realizado. Foram identificados quatro processos principais, sucintamente apresentados a seguir:

- ◆ Usinagem: As operações de fresamento 3 eixos CNC, com programas gerados por sistemas CAD/CAM, são as operações mais utilizadas neste processo produtivo. Embora pouco

considerada, as operações de furação ainda requerem atenção, devido ao elevado número de furos necessários para um molde.

- ◆ Eletro-erosão: As operações de eletro-erosão são aplicadas no segmento de moldes e matrizes em casos específicos, tais como: características geométricas reduzidas e/ou áreas de difícil acesso por uma ferramenta de corte; qualidade de acabamento específica; e usinagem de aços com elevada dureza.
- ◆ Polimento: A rugosidade da superfície do molde, após o processo de usinagem, muitas vezes não é satisfatória para ser diretamente utilizado na produção (BOUJELBENE et al) <sup>(7)</sup>. Neste caso, envolvem-se etapas de acabamento manual, realizadas por “artesãos”, que visam obter o acabamento superficial necessário para o ferramental começar a produzir. Por mais hábil que seja este profissional, a precisão dimensional do molde fica comprometida, além disso, muito tempo de trabalho é necessário nesta etapa de acabamento, representando uma considerável parcela no custo final do molde, além de aumentar o tempo de fabricação. Na pesquisa realizada por RIGBY<sup>(9)</sup>, durante a avaliação de custos em uma indústria automobilística, constatou-se que o processo de acabamento manual em moldes e matrizes consome 38% dos custos totais de trabalho. Isto demonstra que as tecnologias que aprimorem o acabamento superficial na fabricação destes ferramentais, reduzindo as etapas manuais de acabamento, terão um futuro promissor.
- ◆ Ajuste: Em grande parte dos casos, devido às imprecisões de fabricação, etapas dispendiosas de ajuste devem ser realizadas, principalmente nas linhas de fechamento do molde. Estas etapas são conhecidas como *Try-out*.

O trabalho atual estuda o processo de usinagem para a fabricação de moldes e matrizes. Verificou-se inicialmente a necessidade de classificar duas partes distintas destes ferramentais (Figura 2):

a-) As cavidades: Representam o produto a ser transformado (parte macho e fêmea);

b-) O Porta-molde: É a estrutura do molde, responsável pela montagem, resfriamento e extração do produto.

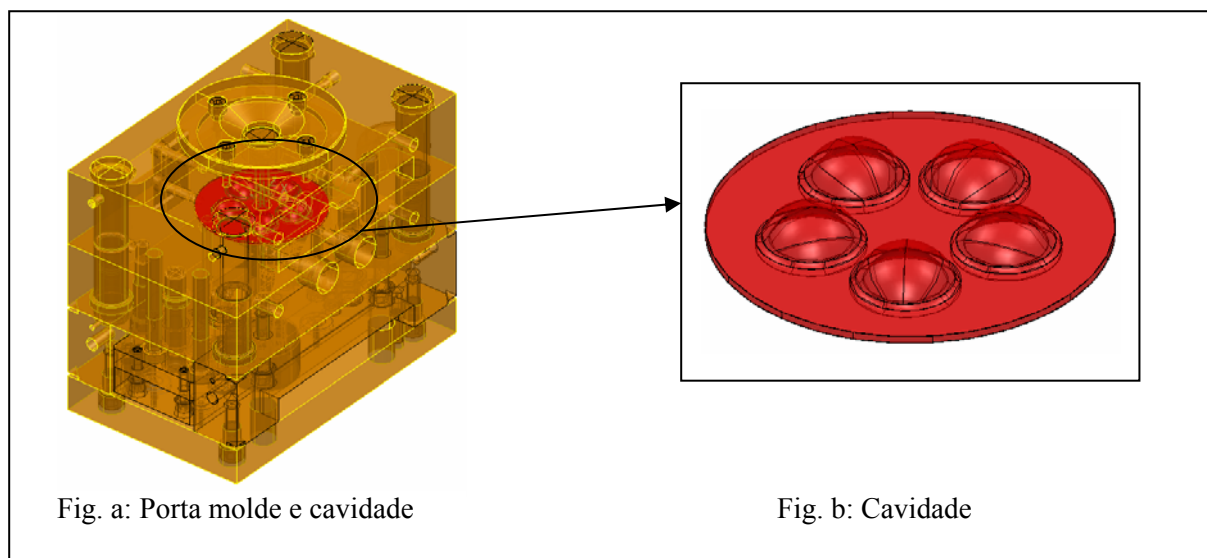


Figura 2: Componentes de um molde. Porta-molde e cavidade

Este trabalho foca a usinagem das cavidades, onde o fresamento CNC 3 eixos é o processo de usinagem mais empregado. As operações de fresamento envolvidas na fabricação das cavidades podem ser classificadas como:

- ◆ Desbaste: Operações de fresamento CNC partindo de um material em bruto. Esta operação é executada em 2½ eixos, quando se utiliza um bloco cúbico de matéria-prima. A ferramenta é posicionada em uma determinada altura em Z e depois executa movimentos em dois eixos para remoção de material deste nível. Quando a remoção de material deste nível é finalizada, a ferramenta se posiciona em uma nova altura em Z (definida pela profundidade de corte), remove o material deste plano, repetindo este processo até a conclusão do desbaste. Normalmente, deixa-se um sobremetal para a operação final de acabamento.
- ◆ Alívio de cantos: Esta operação tem a finalidade de remover o material não usinado no desbaste, em áreas não atingidas pela ferramenta de corte, devido a utilização de ferramentas de diâmetro relativamente grandes (ferramentas características das operações de desbaste). Portanto, são empregadas na operação de alívio de cantos, ferramentas com diâmetros menores, para se usinar regiões com raios de concordância.
- ◆ Pré-acabamento: estas operações de fresamento têm a finalidade de eliminar o volume de material deixado pelo desbaste, em função do processo de usinagem em 2 ½ eixos. Após o desbaste, observam-se degraus formados na geometria usinada, como documentado por SOUZA<sup>(4)</sup> e CAPLA<sup>(10)</sup>. O pré-acabamento, assim como a operação de alívio de cantos, tem a finalidade de deixar constante o volume de material a ser removido nas operações de acabamento.
- ◆ Acabamento: Esta é uma operação de fresamento CNC tridimensional, utilizando 3, 4, ou 5 eixos de liberdade, conforme a disposição da máquina-ferramenta. Esta operação visa remover todo material excedente das operações anteriores e obter a melhor qualidade superficial possível no fresamento.

A Figura 3 ilustra a cadeia produtiva e as etapas de fabricação de moldes e matrizes.

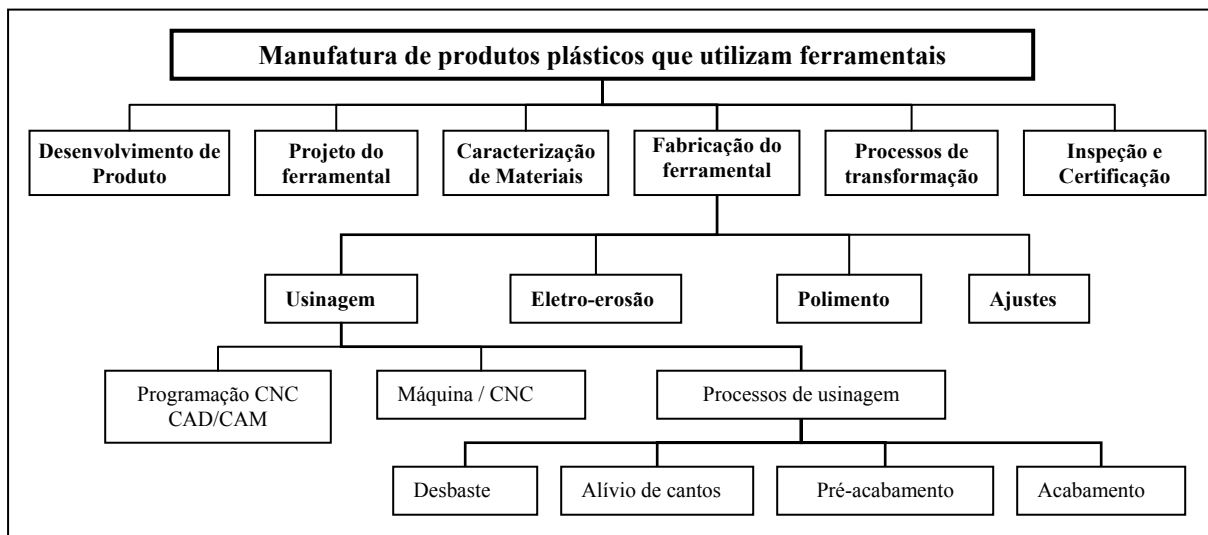


Figura 3: Cadeia produtiva e fabricação de moldes e matrizes

Diversas limitações tecnológicas na fabricação de moldes e matrizes são documentadas na literatura. Este trabalho apresenta um estudo realizado para avaliar as severas oscilações na velocidade de avanço na operação de acabamento de formas geométricas complexas, detectado em trabalho prévio (SOUZA)<sup>(11)</sup>.

### 3. TRABALHO EXPERIMENTAL – OSCILAÇÕES DA VELOCIDADE DE AVANÇO

No trabalho realizado por SOUZA<sup>(11)</sup> constatou-se, de forma simplificada, que a velocidade de avanço se altera constantemente durante a usinagem de formas complexas. Verificou-se que o tempo de usinagem calculado pelo software CAM era inferior ao tempo real de usinagem. Isto ocorreu devido às reduções da velocidade de avanço. Outro inconveniente observado foram marcas superficiais oriundas das oscilações do avanço, refletindo na alteração do carregamento da força durante a usinagem.

O presente trabalho apresenta um estudo detalhado para investigar as oscilações da velocidade de avanço durante a usinagem de formas complexas. Neste estudo foi utilizado um centro de usinagem Hermle modelo C800, equipada com comando numérico Siemens 840D, desenvolvido para trabalhar em altas velocidades. Mesmo com a utilização de equipamentos específicos para a usinagem em altas velocidades, severas oscilações na velocidade de avanço ainda podem ser observadas. Para se conhecer as razões destas oscilações, neste trabalho foram consultados técnicos especialistas em equipamentos CNC e fornecedores de máquinas CNC. Duas possibilidades foram levantadas:

a-) Limitações dinâmicas da máquina-ferramenta: O CNC limita a velocidade de avanço quando a máquina se movimenta em alta velocidade em trajetórias não-lineares, a fim de manter a trajetória da ferramenta dentro do valor de tolerância da máquina.

b-) Tempo de processamento de bloco do CNC. É o tempo necessário para o CNC interpretar uma linha de programa NC (dados ASCII: comandos G, M, etc.) e converter estas informações em acionamento dos eixos da máquina. O tempo de processamento de bloco adicionado ao tempo necessário para o CNC fechar o *Loop* de Controle, deve ser menor que o tempo utilizado pela ferramenta percorrer o incremento de trajetória descrito por um bloco de comando. Caso contrário, a máquina atinge o ponto destino e a informação para a movimentação subsequente ainda não está disponível para execução. Neste caso, o CNC reduz automaticamente a velocidade de avanço programada para uma velocidade de avanço compatível com sua velocidade de processamento e atualização dos servos. Isto implica em maior tempo de usinagem devido à incapacidade do sistema de acionamento da máquina (incluindo a capacidade do CNC) em manipular as informações do programa NC em tempo hábil.

Observando as duas possibilidades levantadas acima, este trabalho se propõe investigar as oscilações da velocidade de avanço e implicações no processo de usinagem.

Utilizando geometrias semicirculares, foi possível representar a usinagem de formas complexas, sob o aspecto da programação CNC, permitindo duas principais avaliações:

a-) realizar a usinagem utilizando programa NC gerado manualmente, contendo interpolação circular, comando G02 (uma linha de programa NC);

b-) gerar programa NC por um software CAM empregando o mesmo método utilizado para a usinagem de formas complexas, a interpolação linear de segmento de retas (o programa gerado possui um grande número de segmentos de retas, comandos G01).

Desta forma o estudo atual é proposto para identificar a fonte mais influente das oscilações na velocidade de avanço e suas repercussões no acabamento da superfície usinada.

#### 3.1. Definição do estudo proposto

Utilizou-se uma geometria simples, mas representativa, para compor o corpo de prova, com a finalidade de verificar a influência dos programas NC gerados tradicionalmente por sistemas CAM na

velocidade de avanço ( $v_f$ ). O corpo de prova elaborado contém três formas semicirculares com raio de 20 mm e profundidade de 5 mm (Figura 4), possuindo 300 mm de comprimento, 120 mm de largura e 70 mm de altura, fabricado em aço AISI P20 com dureza de 30 HRc. Foram analisadas as operações de acabamento, com as trajetórias executadas no plano horizontal, perpendicular ao eixo da ferramenta, como ilustrado na Figura 4. Como resposta, foram obtidos gráficos do comportamento real da velocidade de avanço ao longo da usinagem de acabamento e observada a rugosidade superficial em cada caso.

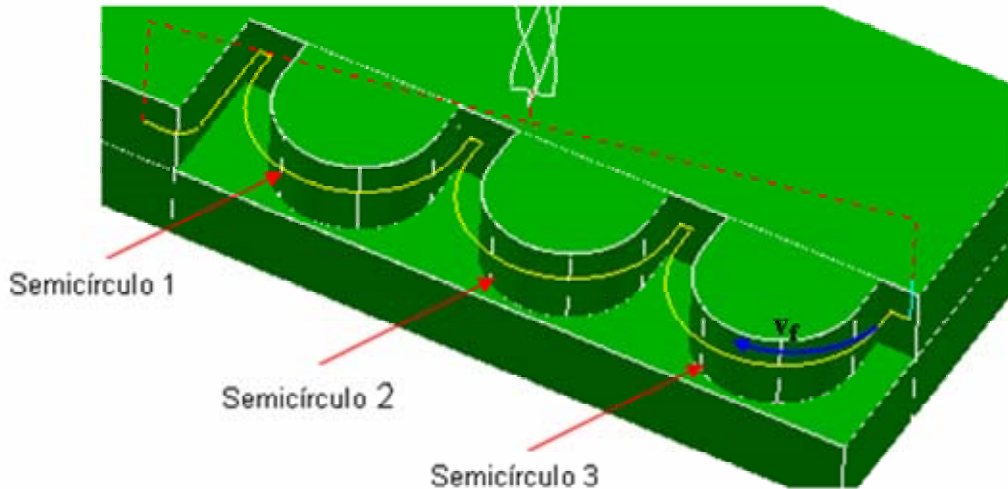


Figura 4: Geometria do corpo de prova utilizado

Observaram-se vibrações na máquina quando esta executa trajetórias contendo interpolações lineares de segmento de retas e velocidades de avanço relativamente elevadas, mesmo utilizando os recursos do CNC para usinagem em altas velocidades, como a função *Look-ahead* e inibidor de desaceleração ao final de cada bloco.

Com isso, para um dos semicírculos, decidiu-se reduzir a velocidade de avanço, utilizando-se um valor no qual o efeito desaparece, mantendo o avanço constante. Este valor foi definido experimentalmente. Desta forma, foram utilizados dois valores diferentes de  $v_f$ . Foram definidos dois níveis de velocidade no programa NC, usando-se o método de interpolação linear de segmentos de retas, comandos G01, amplamente utilizada para representar trajetórias complexas.

Os resultados destes casos foram comparados também com a usinagem de um semicírculo utilizando a interpolação circular (G02), empregando o maior valor de  $v_f$ .

Nestes experimentos o corpo de prova foi desbastado previamente para se obter as geometrias circulares.

Para a usinagem de acabamento do semicírculo 1(caso 1) foi gerado um programa NC através do software CAM, utilizando a interpolação linear de segmentos de retas com tolerância de cálculo de 0,005 mm. O programa NC resultante possuía aproximadamente 330 linhas. Para o semicírculo 2 (caso 2) do corpo de prova foi utilizado um programa contendo apenas interpolação circular, com comando G02. Isto propiciou uma redução significativa do número de linhas do programa (apenas 1 linha). Nestes dois casos foi empregado o valor mais elevado da velocidade de avanço.

O semicírculo 3 foi usinado com o mesmo programa NC utilizado no caso 1, reduzindo apenas a velocidade de avanço para um valor máximo, onde o CNC mantivesse constante a velocidade de avanço. A rotação da ferramenta foi reduzida também, visando manter o mesmo avanço por aresta. Os parâmetros para a usinagem de acabamento dos três casos estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Parâmetros de processo atribuídos ao acabamento

<b>Velocidades</b>	$v_f = 3500$ mm/min $vc = 585$ m/min	$v_f = 3500$ mm/min $vc = 585$ m/min	$v_f = 1000$ mm/min $vc = 180$ m/min
<b>Nível</b>	Comando G01 Interpolação linear	Comando G02 Interpolação circular	Comando G01 Interpolação linear
<b>Semicírculo</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<b>Ferramenta</b>	Fresa de topo plana 20mm, 8 arestas Sandvik R216.32-20030-ac32n 1020		
<b>Sobremetal (<math>a_e</math>)</b>	0.2 mm		
<b><math>a_p</math></b>	3 mm		

Em todos os casos de usinagem, as funções do CNC *Look-ahead* e inibidor de desaceleração (comando G64), foram utilizadas.

### 3.2. Aquisição da velocidade de avanço durante a usinagem

Para estudar o comportamento da velocidade de avanço em superfícies complexas, foi desenvolvido um sistema de aquisição das velocidades individuais de cada eixo da máquina CNC, em função de sua posição cartesiana no espaço, durante a realização da usinagem SOUZA<sup>(4)</sup>. As informações de posicionamento dos eixos da máquina e suas respectivas velocidades de movimentação são armazenadas em variáveis de sistema do CNC. A velocidade de avanço resultante (mm/min) foi obtida pela Eq. (1).

$$v_f = \sqrt{V_x^2 + V_y^2 + V_z^2} \quad (1)$$

Onde:

$V_x$ ,  $V_y$  e  $V_z$  são as velocidades de avanço, obtidas em tempo real, para cada eixo coordenado.  $V_f$  é a velocidade de avanço resultante no momento observado.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O corpo de provas usinado neste experimento está ilustrado na Figura 5.

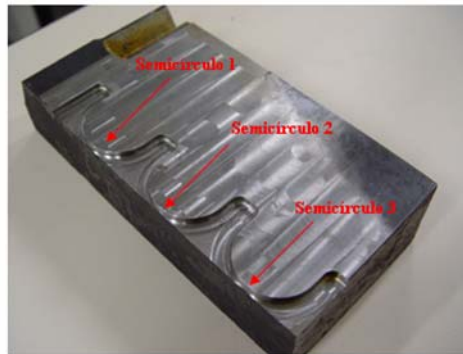


Figura 5: Corpo de prova usinado

Utilizando os dados obtidos pelo sistema de aquisição, o gráfico da Figura 6 mostra a trajetória da ferramenta e o comportamento da velocidade de avanço na usinagem do semicírculo 1.

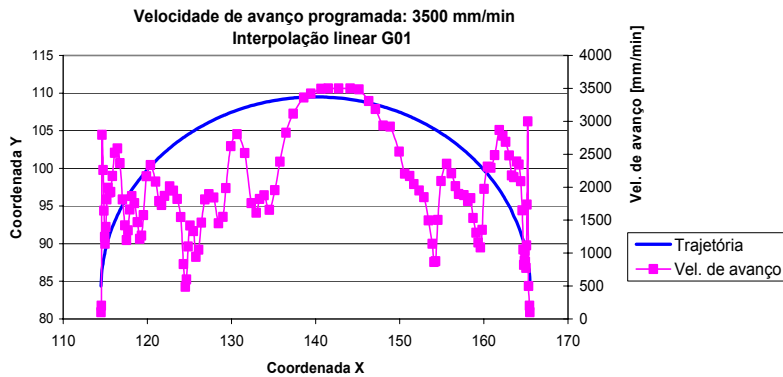


Figura 6: Velocidade de avanço: Semicírculo 1 – Interpolação linear;  $v_f$  3500 mm/min

Observa-se que a velocidade de avanço sofreu grandes oscilações, atingindo em apenas alguns instantes o valor programado (3.500 mm/min), ocorrendo vibrações na máquina. A Figura 7 mostra o mesmo experimento, porém agora utilizando a interpolação circular, comando G02.

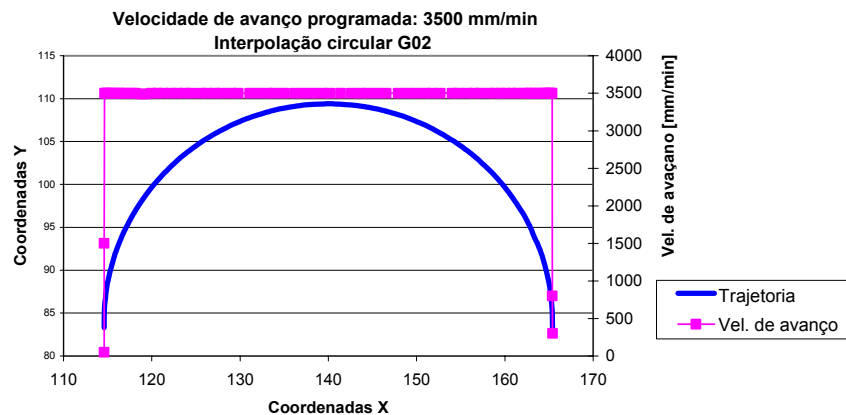


Figura 7: Velocidade de avanço: Semicírculo 2 – Interpolação circular;  $v_f$  3500 mm/min

Neste caso a velocidade de avanço se manteve constante durante a usinagem, em 3.500 mm/min. Estes experimentos indicam que a velocidade de avanço é reduzida pelo CNC no caso de interpolações lineares. Isso pode ser atribuído, em parte, ao grande volume de informações que o CNC deve processar (muitas linhas de programa). Com o programa contendo comandos G01, observou-se empiricamente, que 1.000 mm/min é a máxima velocidade de avanço que a máquina consegue executar este programa, mantendo o avanço constante, sem ocorrer vibrações na estrutura, como demonstra o gráfico da Figura 8.

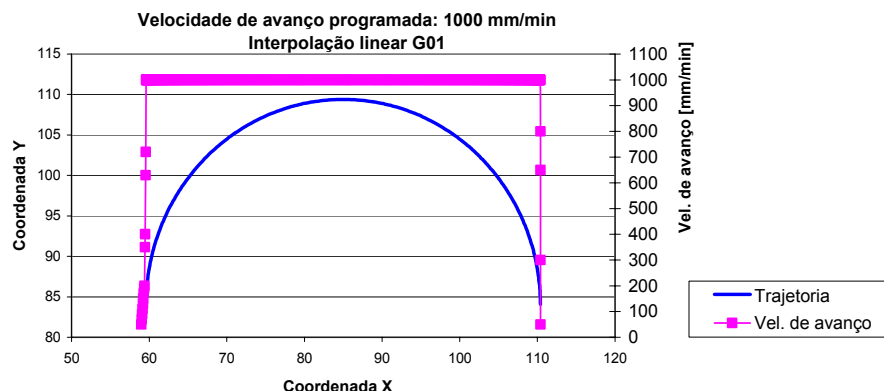


Figura 8: Velocidade de avanço: Semicírculo 3 – Interpolação linear;  $v_f$  1000 mm/min



A velocidade de avanço média obtida nestes experimentos de usinagem estão apresentadas na Tabela 2. No caso do semicírculo 1, observa-se uma redução de 43,5% da velocidade de avanço programada.

*Tabela 2: Velocidades médias em cada semicírculo*

Análise	Avanço programado	Interpolação	Avanço médio
Semicírculo 1	3.500 mm/min	Linear	$\cong$ 1.978 mm/min
Semicírculo 2	3.500 mm/min	Circular	$\cong$ 3.500 mm/min
Semicírculo 3	1000 mm/min	Linear	$\cong$ 1000 mm/min

Obteve-se a rugosidade superficial na direção do avanço, avaliando o parâmetro Ra ( $\mu\text{m}$ ). Os valores de rugosidade obtidos estão apresentados na Tabela 3, e correspondem a média aritmética de cinco amostras.

*Tabela 3: Parâmetros de rugosidade  $R_a$*

Semicírculo	1	2	3
Média $R_a$ [ $\mu\text{m}$ ]	1,92	1,01	1,39
Desvio-Padrão	0,01	0,01	0,01
Inter. confiança de 95%	0,03	0,03	0,05

Os valores mais elevados de Ra foram obtidos no primeiro semicírculo (comandos G01); enquanto os menores valores foram obtidos com o segundo semicírculo (comandos G02).

## 5. CONCLUSÕES FINAIS

As principais conclusões deste trabalho estão apresentadas a seguir:

- ◆ A velocidade de avanço de usinagem foi reduzida pelo CNC, em função do método utilizado para descrever as trajetórias de ferramenta (interpolação linear) e, neste caso, não pela dinâmica da máquina em executar movimentações não-retilíneas.
- ◆ Observa-se uma redução de 43,5% da velocidade de avanço programada, quando se emprega a interpolação linear de segmento de retas. Isto eleva o tempo necessário para realizar a usinagem, tornando imprecisa a estimativa de tempo de usinagem gerada pelo CAM.
- ◆ Com os valores de Ra obtidos no experimento, conclui-se que a qualidade superficial é fortemente prejudicada pela significativa oscilação no avanço e não apenas pelo método de interpolação linear de segmento de retas.

## 6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a colaboração da Sandvik Coromant, pelas ferramentas de corte utilizadas; Villares Metals, pelo fornecimento da matéria-prima; e ao Projeto IFM (Instituto Fábrica do Milênio).

## 7. REFERÊNCIAS

1. FALLBÖHMER, P.; ALTAN T.; TÖNSHOFF, H.; NAKAGAWA, T.; (1996). Survey of the die and mold manufacturing industry. *Journal of Material Processing Technology*, Amsterdam, v.59, n.1/2, p.158-168, May.
2. SCHULZ, H.(1999). The History of high-speed machining. In: International Scientific Conference on Production Engineering, 5., 1999\*, Opatija. p.o002-o0012.

3. CEBALO, R.; SCHULZ, H.: CIM'99 - *Computer Integrated Manufacturing and High Speed Machining*. Opatija, Croat. 1999. ISBN953-97181-1-2.
4. SOUZA, A. F. (2004). Contribuições ao fresamento de geometrias complexas aplicando a tecnologia de usinagem com altas velocidades. Tese de doutorado. Universidade de São Paulo. São Carlos, SP.
5. SCHÜTZER, K.; SOUZA, A.F. (1999). Introdução do processo HSC na indústria brasileira. *Máquinas e Metais*, São Paulo, v.36, n.407, p.32-45, Dez.
6. SOUZA, A. F.; COELHO, R. T. (2006). Experimental Investigation of Feed Rate Limitations on High Speed Milling Aimed at Industrial Application. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. DOI: 10.1007/s00170-006-0445-2.
7. BOUJELBENE, M. MOISAN, A.; TOUNSI, N.; BRENIER, B. (2004). Productivity enhancement in dies and molds manufacturing by the use of C1 continuous tool path. *International Journal of Machine Tool & Manufacture*, Amsterdam, v.44, n.1, p.101-107, Jan.
8. SOUZA, A. F.; SACCHELLI, C.; LACERDA, M. GILAPA, L. (2006). Análise da gestão de produção de moldes de injeção. VI Congresso Nacional de Engenharia Mecânica. Recife, PE.
9. RIGBY, P. (1993). High speed milling in the mold and die making industries. In: DIAMOND AND CBN ULTRAHARD MATERIALS SYMPOSIUM, Ontario.
10. CAPLA, R. L.; SOUZA, A. F. ; BRANDÃO, L. C. ; COELHO, R. T. (2005). SOME EFFECTS OF STOCK VARIATION DUE TO THE USE OF 2 AXES STRATEGY ON ROUGHNING. In: COBEM 2005, 2005, Ouro Preto MG. Anais do COBEM 2005, 2005.
11. SOUZA, A.F. (2001). Análise das interpolações de trajetórias de ferramenta na usinagem HSC (high speed cutting) em superfícies complexas. 89p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Metodista de Piracicaba, Piracicaba.

## 8. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

### INVESTIGATION ON FEED RATE OSCILLATION FOR HIGH SPEED MILLING FREE FORM GEOMETRIES

**Prof. Dr. Adriano Fagali de Souza**

Sociedade Educacional de Santa Catarina – SOCIESC

[adriano.fagali@sociesc.com.br](mailto:adriano.fagali@sociesc.com.br)

**Adriano Eudorico Albano**

Sociedade Educacional de Santa Catarina – SOCIESC

[adriano.albano@sociesc.org.br](mailto:adriano.albano@sociesc.org.br)

**Prof. Dr. Reginaldo Teixeira Coelho**

Escola de Engenharia de São Carlos – EESC-USP

[rtecoelho@sc.usp.br](mailto:rtecoelho@sc.usp.br)

#### Abstract

Initially this paper presents an investigation about the whole chain of die and mould manufacturing. It was defined all steps of this production chain. An experimental investigation goes deeply into the feed rate oscillation when free form geometries are milled. The results shows the mainly reason for these feed oscillation is to due the method applied for the CAM/CNC to describe a free form tool path, the straight line interpolation ether than dynamic machine limitation, for the case investigated. These feed oscillation influencing the surface finishing and machining time.

**Key-words:** Die and mould; free for geometries; feed rate; high speed cutting.